

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta elektrotechniky a informatiky

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

2015

Daniel Kouřil

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta elektrotechniky a informatiky
Katedra elektroniky

**Netradiční napájecí zdroj pro měřicí zařízení v místě bez přívodu
proudu**

**Unconventional Power Supply for Measuring Apparatus in Place
without Power Network**

Zadání bakalářské práce

Student: **Daniel Kouřil**

Studijní program: B2649 Elektrotechnika

Studijní obor: 2612R003 Aplikovaná elektronika

Téma: Netradiční napájecí zdroj pro měřicí zařízení v místě bez přívodu proudu
Unconventional Power Supply for Measuring Apparatus in Place
without Power Network

Zásady pro vypracování:

Cílem je navrhnout a zkonstruovat napájecí zdroj pro zařízení měřící napětí (případně proudy) zpětné cesty trakčních proudů a okolních vodivých předmětů. Zdroj čerpá energii přímo z těchto napětí. Samotné měřicí zařízení není součástí práce.

1. Seznámení se s problematikou toku zpětných trakčních proudů a souvisejících napěťových poměrů. Seznámení se s energetickými požadavky měřicího zařízení.
2. Analýza problému, návrh vhodných baterií pro akumulaci energie.
3. Návrh obvodu pro dobíjení baterií z rozdílů potenciálů způsobených trakčními proudy.
4. Realizace zařízení.

Seznam doporučené odborné literatury:

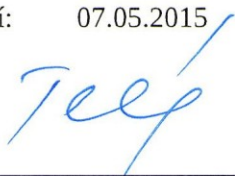
- Cenek Miroslav, Akumulátory od principu k praxi, FCC Public, Praha 2003.
- Humlhans Jan, Zajímavá zapojení : inspirace konstruktérům. 1. díl, Zdroje a měniče, nabíjení a baterie, BEN, Praha 2012.
- Humlhans Jan, Inteligentní nabíječky s obvody MAXIM, BEN, Praha 2012.

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Václav Kolář, Ph.D.**

Datum zadání: 01.09.2014

Datum odevzdání: 07.05.2015



doc. Ing. Petr Palacký, Ph.D.
vedoucí katedry



prof. RNDr. Václav Snášel, CSc.
děkan fakulty

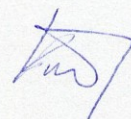
Prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně. Uvedl jsem všechny literární prameny a publikace, ze kterých jsem čerpal.

V Ostravě

datum odevzdání: 4.5.2015

podpis:



Poděkování

Rád bych na tomto místě poděkoval své rodině za podporu při studiu. Dále bych rád poděkoval vedoucímu bakalářské práce Ing. Václavu Kolářovi, Ph.D. za odbornou pomoc a konzultace.

Abstrakt

Cílem této bakalářské práce je popsat návrh a realizaci napájecího zdroje pro měřicí zařízení, které měří napětí zpětné cesty trakčních proudů a okolních vodivých předmětů. Zdroj měřicího přístroje je napětími zpětné cesty trakčních proudů přímo napájen. V řešení jsou analyzovány vstupní napěťové poměry, na základě kterých se odvíjí celý návrh řešení. V práci jsou obsaženy informace věnující se výběru vhodného záložního akumulátoru a s tím souvisejícího návrhu nabíjecího obvodu, stabilizátorů a řídicích obvodů. Dále je v práci popsána praktická realizace celého návrhu a jsou k ní přiloženy přílohy obsahující datasheety použitých součástek a schémata zapojení jednotlivých obvodů. V řešení jsou uvedeny výpočty komponent zapojení.

klíčová slova

trakce; trakční proudy; napájecí zdroj; záložní akumulátor; nabíjecí obvod

Abstract

The purpose of this work is to describe the design and realization of power supply for the measuring device that measures the voltages of feedback path traction currents and surrounding conductive objects. The source of the measuring device is directly supplied from voltages of reverse path traction currents. In the solutions are analyzed input voltages proportion, on which is based the all design solution. The work contains information dealing with the selection of a suitable backup battery and a related draft charging circuit, stabilizers and control circuits. The work also describes the practical realization of the all design and it is accompanied annex containing datasheets of components and diagrams of circuits. In the solutions are presented calculations of including components.

key words

traction; traction currents; power supply; backup accumulator; charging circuit

Seznam obrázků a tabulek

OBRÁZEK 2-1 NAPĚŤOVÉ POMĚRY MEZI POTENCIÁLY V HALE	3
OBRÁZEK 3-1 BLOKOVÉ SCHÉMA ZAPOJENÍ	4
OBRÁZEK 4-1 PROCES NABÍJENÍ	5
OBRÁZEK 4-2 PROCES VYBÍJENÍ	5
OBRÁZEK 4-3 ROZDĚLENÍ AKUMULÁTORŮ	6
OBRÁZEK 4-4 KONSTRUKCE HRANOLOVÉHO NiMH ČLÁNKU	9
OBRÁZEK 4-5 VYBRANÝ AKUMULÁTOR	10
OBRÁZEK 5-1 ZAPOJENÍ VSTUPNÍHO OBVODU	11
TABULKA 5-2 KOMPARAČNÍ HLADINY	12
OBRÁZEK 6-1 KATALOGOVÉ ZAPOJENÍ STABILIZÁTORU LM317T	13
OBRÁZEK 6-2 ZAPOJENÍ NABÍJECÍHO OBVODU	14
OBRÁZEK 7-1 ZAPOJENÍ SÉRIOVÉHO REGULÁTORU 5 V SE ZPĚTNOU VAZBOU	16
OBRÁZEK 7-2 SIMULACE REGULÁTORU 5 V V PROGRAMU MICRO-CAP	18
OBRÁZEK 7-3 ZAPOJENÍ SÉRIOVÉHO REGULÁTORU 12 V SE ZPĚTNOU VAZBOU	18
OBRÁZEK 7-4 SIMULACE REGULÁTORU 12 V PROGRAMU MICRO-CAP	20
OBRÁZEK 8-1 VRSTVY	22
OBRÁZEK 9-1 ZAPOJENÍ ŘÍDICÍHO OBVODU PRO MĚNIČ 12 V	25
TABULKA 9-2 NAPĚŤOVÉ POMĚRY	26
OBRÁZEK 9-3 FUNKCE KOMPARÁTORU 12 V	26
OBRÁZEK 9-4 ZAPOJENÍ ŘÍDICÍHO OBVODU PRO MĚNIČ 5 V	27
TABULKA 9-5 NAPĚŤOVÉ POMĚRY	28
OBRÁZEK 9-6 FUNKCE KOMPARÁTORU 5 V	28
OBRÁZEK 9-7 ZAPOJENÍ VÝSTUPNÍHO OBVODU	30
OBRÁZEK 10-1 DESKY PLOŠNÝCH SPOJŮ 1	31
OBRÁZEK 10-2 DESKY PLOŠNÝCH SPOJŮ 2	31
OBRÁZEK 10-4 FINÁLNÍ VÝROBEK	32
OBRÁZEK 10-5 POPIS PŘEDNÍHO PANELU	32
OBRÁZEK 10-3 PŘEDNÍ PANEL	32

Obsah

1	Úvod	1
2	Problematika zpětných trakčních proudů.....	2
2.1	Napěťové poměry mezi potenciály	2
2.2	Energetické požadavky měřicího zařízení	3
3	Návrh řešení.....	4
4	Výběr záložního akumulátoru.....	5
4.1	Princip funkce akumulátorů (obecně)	5
4.2	Rozdělení akumulátorů.....	6
4.3	Hermetické akumulátory	6
4.4	Rozdělení hermetických akumulátorů	7
4.5	Paměťový efekt	8
4.6	NiMH akumulátory	8
4.6.1	Princip funkce.....	8
4.6.2	Konstrukce NiMH akumulátorů	9
4.6.3	Nabíjecí metody NiMH článků	10
4.6.4	Vybraný akumulátor	10
5	Vstupní obvod.....	11
5.1	Návrh vstupního obvodu	11
6	Nabíjecí obvod	13
6.1	Návrh nabíjecího obvodu.....	13
6.1.1	Popis funkce obvodu	14
7	Stabilizátory.....	16
7.1	Návrh stabilizátoru 5 V	16
7.1.1	Popis funkce obvodu	16
7.2	Návrh stabilizátoru 12V	18
7.2.1	Popis funkce obvodu	18
8	Návrh chladičů	21
8.1	Výpočet chladiče pro stabilizátor 5 V.....	22
8.2	Výpočet chladiče pro stabilizátor 12 V.....	23
9	Řídicí obvod	25
9.1	Řídicí obvod pro měnič 12 V.....	25

9.2	Řídicí obvod pro měnič 5 V	27
9.3	Výstupní obvod	30
10	Realizace zařízení	31
10.1	Výroba DPS a jejich osazení	31
10.2	Výroba konstrukčního boxu	32
11	Závěr	33

1 Úvod

Bakalářská práce souvisí s problematikou zpětných trakčních proudů. Navazuje na zakázku řešenou vedoucím práce panem Ing. Václavem Kolářem, Ph.D. v roce 2014. V hale THÚ (Technicko Hygienické Údržby) TJ Bohumín se v roce 2014 objevily problémy se zpětnými trakčními proudy, které způsobily přepálení hromosvodových svodů a tím související problémy s ochranou proti bleskům. Proto bylo potřeba zmapovat celou situaci na pracovišti a navrhnout způsob možného řešení problému. Bylo provedeno 24hodinové měření na potenciálech různých částí haly, kolejnic v hale a jejich okolí a různých částí uzemňovací soustavy. Pravděpodobným místem odkud proudy vnikaly do blízkých uzemněných kovových částí, jsou poškozené izolační vložky mezi kolejnicemi a jejich nosnou konstrukcí.

Úkolem bylo seznámit se s těmito skutečnostmi, navrhnout a realizovat zdroj, který by byl schopný napájet měřicí zařízení přímo z rozdílů potenciálů způsobených trakčními proudy. V následující kapitole je popsána problematika toku zpětných trakčních proudů, napěťové poměry mezi potenciály a energetické požadavky měřicího zařízení. V dalších kapitolách je řešen výběr možného akumulátoru pro napájení měřicího zařízení, návrh jednotlivých částí napájecího zdroje a jeho následná realizace.

2 Problematika zpětných trakčních proudů

Zpětné trakční proudy vznikají trakčním odběrem, například při rozjezdu několika vlakových souprav. Tyto proudy pak vyvolávají úbytek napětí na koleji. To znamená, že se mezi uzemněnými kovovými částmi v blízkosti kolejnice může vyskytovat napětí.

Bohumín leží přibližně uprostřed mezi trakčními měnírny Ostrava - Svinov a Karviná, tato vzdálenost je asi 13 a 15 km. Pro vedení zpětného trakčního proudu slouží 4 paralelně spojené kolejnice. Běžný odpor kolejnice je 30 mΩ/km. Poté při hypotetickém trakčním odběru 10 MW ve stanici Bohumín nebo v jeho okolí vzniká trakční proud zhruba 3,3 kA, který pak vyvolá na kolejnicích úbytek napětí blížící se hodnotě 175 V. Toto je hodnota, která se může vyskytovat mezi uzemněnými kovovými částmi v blízkosti kolejnice. Výjimečně i vyšší, a při spojení těchto kovových částí bude docházet k průtoku značných vyrovnávacích proudů.

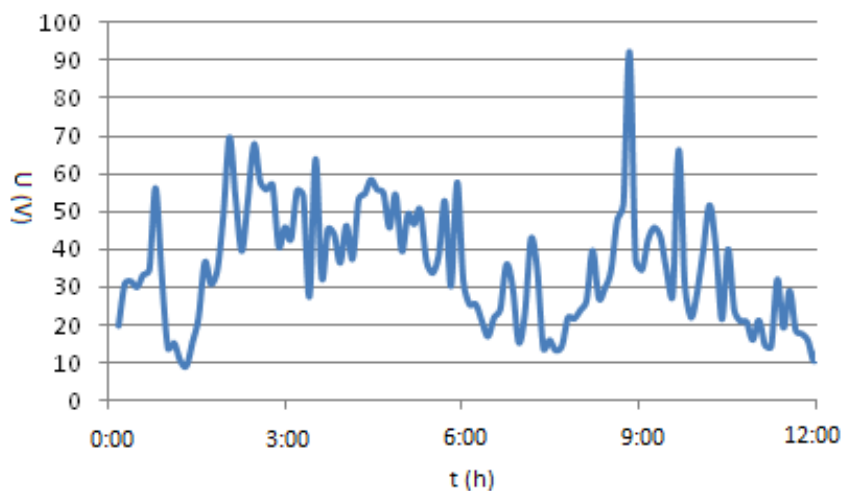
Tyto jevy jsou s elektrickou trakcí nedílně spjaty. Správným technickým řešením trakční soustavy je lze omezit na přijatelnou mez, ale nikdy je nelze zcela odstranit. [1]

2.1 Napěťové poměry mezi potenciály

Při měřeních na pracovišti PJ Bohumín v hale THÚ (Technicko Hygienické Údržby) byly naměřeny poměrně vysoké hodnoty proudů a napětí.

Kolejnice v hale jsou propojeny elektrovodnými lany. Celá hala, kolejnice v ní i hromosvodové svody jsou vodivě propojené. Maximální naměřené napětí proti vzdálené zemi bylo 131 V. Jedním z ukolejnění, do haly přitékal značný proud, který se téměř shodoval s proudem tekoucím hromosvodovými svody. Jeho velikost dosáhla hodnoty 171 A. [1]

Pro názornou ukázkou napěťových poměrů působících na potenciálech proti vzdálené zemi v hale, je zde uveden jeden z průběhů naměřeného napětí (*Obrázek 2-1*). Pro lepší přehlednost byl 24hodinový záznam upraven na 12hodinový. Z průběhu je viditelné, jak napětí kolísá v důsledku rychle se měnícího trakčního odběru. V určitých okamžicích dne nabývá i záporných hodnot.



Obrázek 2-1 napěťové poměry mezi potenciály v hale

napěťové poměry:

$U_{\max} = 131 \text{ V}$ kde U_{\max} je maximální naměřené napětí proti vzdálené zemi [V]

$I_{\max} = 171 \text{ A}$ kde I_{\max} je maximální proud tekoucí ukolejněním [A]

2.2 Energetické požadavky měřícího zařízení

Součástí měřícího zařízení je jednočipový mikropočítač. Napájecí napětí u těchto obvodů bývá nejčastěji 3,3 a 5 V.

Záznam z měření je ukládán na paměťovou kartu. Obvody pro paměťové karty potřebují pro svou činnost napětí 3,3 V z tohoto důvodu a pro jednotnost je napájecí napětí obvodů měřícího zařízení 3,3 V.

Proudový odběr zařízení nepřesáhne 0,1 A.

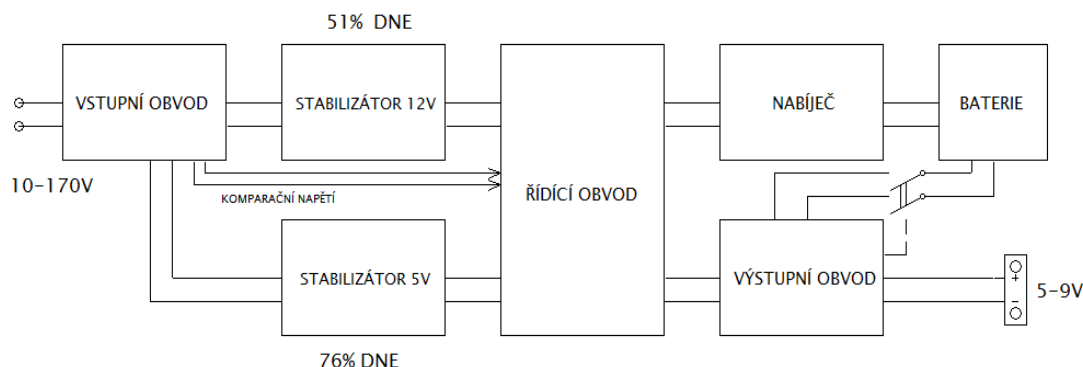
energetické požadavky:

$U_{cc} = 3,3 \text{ V}$ kde U_{cc} je hodnota napájecího napětí měřícího zařízení [V]

$I_{\max} = 0,1 \text{ A}$ kde I_{\max} je maximální hodnota proudu, kterou může měřící zařízení odebírat [A]

3 Návrh řešení

Celkový návrh zapojení znázorňuje blokově (Obrázek 3-1). Zapojení lze pomyslně rozdělit na část záložního zdroje a část napájecího zdroje pro měřicí přístroj. Část záložního zdroje tvoří bloky: *Stabilizátor 12V*, *Řídicí obvod*, *Nabíječ* a *Baterie*. Napájecí zdroj tvoří bloky: *Stabilizátor 5V*, *Řídicí obvod* a *Výstupní obvod*.



Obrázek 3-1 Blokové schéma zapojení

Ona netradičnost napájecího zdroje spočívá v připojení vstupního obvodu zařízení přímo na různé napěťové potenciály v hale, ve kterých docházelo k toku zpětných trakčních proudů. Potenciály jsou myšleny kolejnice, hromosvodové svody a elektrovedné lana.

Analýzou, na základě naměřených dat bylo zjištěno, že stabilizátor 12V je při naměřených hodnotách schopen pracovat 51 % dne. Stabilizátor 5V 76 % dne (*kapitola 7*).

V případě značného poklesu nebo absence napájecího napětí pak plní toto zařízení i funkci záložního zdroje.

Níže je uveden popis funkce jednotlivých částí. Podrobný popis bloků je vysvětlen v odkázaných kapitolách.

Popis jednotlivých bloků:

- **Vstupní obvod** plní funkci připojení vstupních napěťových potenciálů a přepětové ochrany celého zapojení. (*kapitola 5*)
- **Stabilizátory** 12V a 5V stabilizují vstupní napětí na požadovanou hodnotu. (*kapitola 7*)
- **Řídicí obvod** sleduje hodnoty napětí na výstupu vstupního obvodu, na základě kterých spíná DC-DC měniče, které oddělují vstupní a výstupní část zapojení. (*kapitola 9*)
- **Nabíječ** obvod sloužící k dobíjení akumulátoru. Je napájen ze stabilizátoru 12V. (*kapitola 6*)
- **Baterie** NiMH akumulátor plní funkci záložního zdroje, který v případě ztráty napájecího napětí dodává el. energii měřicímu zařízení. (*kapitola 4*)
- **Výstupní obvod** zprostředkovává připojení stabilizovaného napětí 5 V na zátěž, tvořenou měřicím zařízením. V případě kdy dojde k poklesu nebo absenci napětí na vstupu tohoto obvodu, automaticky se uvádí do provozu záložní baterie. (*kapitola 9*)

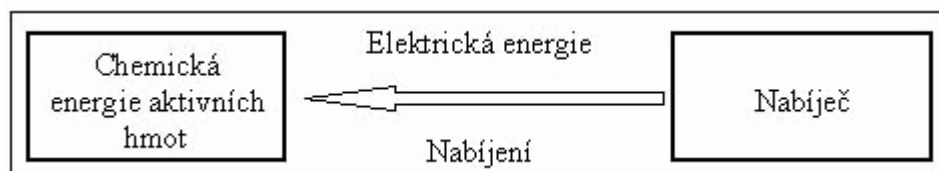
4 Výběr záložního akumulátoru

Oblast elektrických akumulátorů je tématem velmi širokým a obsáhlým. Popisovat zde veškeré jednotlivé typy článků a principy jejich funkce není cílem této bakalářské práce. Proto k dodržení účelné stručnosti jsou uvedeny pouze obecné informace a základní dělení elektrických akumulátorů.

Na základě prostudované literatury se poslední část této kapitoly věnuje hermetickým NiMH akumulátorům, které byly vybrány jako vhodné baterie pro akumulaci energie.

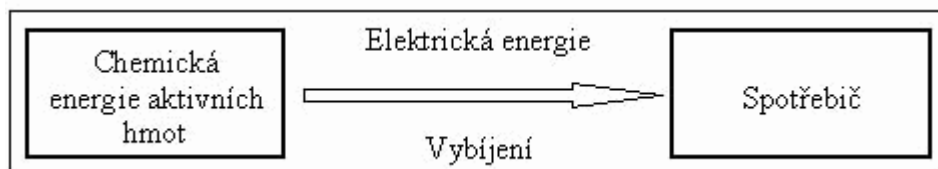
4.1 Princip funkce akumulátorů (obecně)

Elektrická energie vzniká v akumulátoru chemickou reakcí. Články jsou schopné přijímat elektrickou energii z jiného zdroje a ukládat ji ve svých elektrodách jako energii chemickou a to změnou chemického složení elektrochemicky aktivních složek elektrod. Tento proces nazýváme *Nabíjení* (Obrázek 4-1). [2]



Obrázek 4-1 Proces nabíjení

Pokud akumulátor dodává elektrickou energii do zátěže, mění se chemické složení aktivních složek elektrod. Tímto procesem se chemická energie mění na energii elektrickou a nazýváme ji *Vybíjení* (Obrázek 4-2). [2]



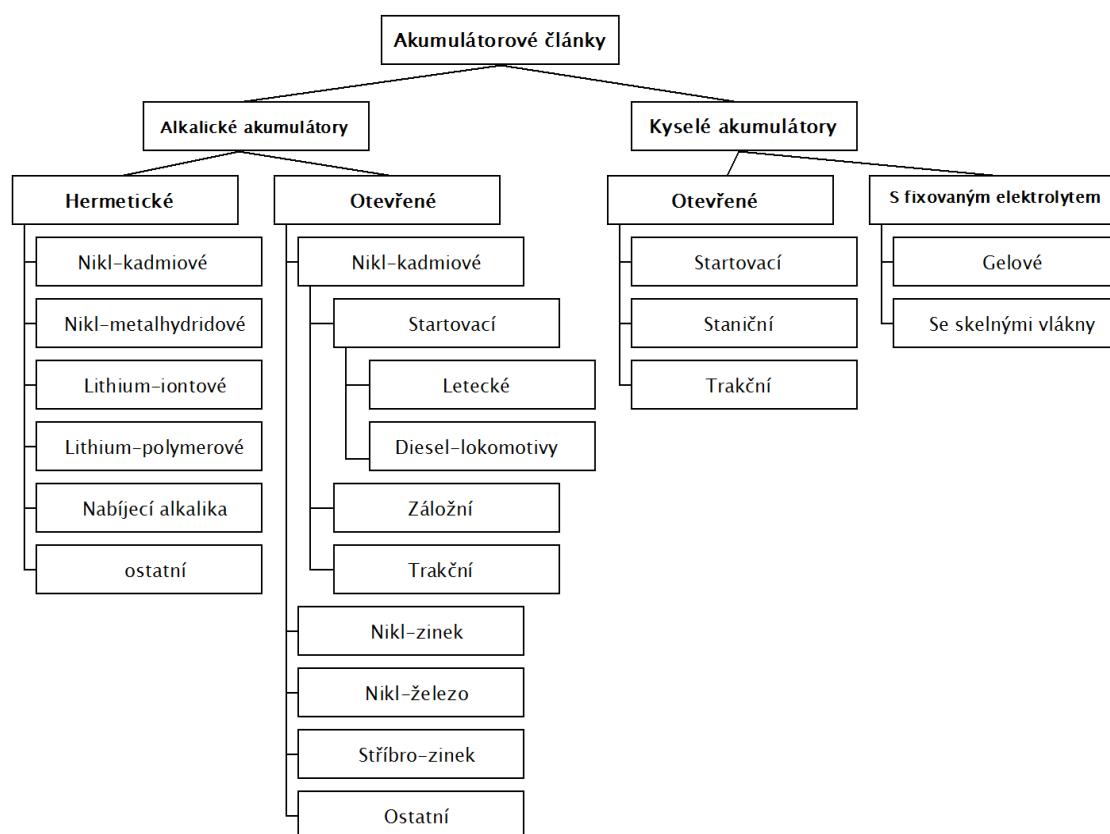
Obrázek 4-2 Proces vybíjení

Hlavními částmi elektrických akumulátorů jsou *elektrody* (kladná a záporná), *elektrolytový systém* (elektrolyt a separátory), *obal* a *vývody*. [2]

4.2 Rozdělení akumulátorů

Akumulátory je možné dělit podle kritérií do různých skupin. Základním dělením, je rozdělení podle typu použitého elektrolytu na *kyselé*, *alkalické* a *bezvodné*.

Podle typu provedení obalu je možné rozdělení na *otevřené* a *uzavřené* (hermetické akumulátory). Základní dělení je zobrazeno níže (Obrázek 4-3). Další části této kapitoly se věnují pouze hermetickým akumulátorům. [2]



Obrázek 4-3 Rozdělení akumulátorů

4.3 Hermetické akumulátory

Hermetický akumulátor je článek, který zůstává uzavřený a neuvolňuje ani plyn ani kapalinu, za předpokladu, že při provozu nejsou překročeny stanovené teplotní a nabíjecí podmínky udané výrobcem. Článek je konstruován pro bezúdržbový provoz, není třeba doplňovat elektrolyt.

Akumulátor může být vybaven bezpečnostním prvkem, který chrání před vnitřním tlakem. Články s tímto bezpečnostním ventilem se nazývají *uzavřené plynotěsné akumulátory*. Naopak pouze *hermetické* články tento ochranný ventil nemají. Mezi odbornou veřejností se rozdíl mezi pojmem hermetický akumulátor a uzavřený plynotěsný akumulátor nedělá. Proto je možné použít obě označení pro akumulátory s bezpečnostním ventilem i bez něj. [2]

4.4 Rozdělení hermetických akumulátorů

Podle tvaru:

- válcové (NiCd, NiMH, Li-ion)
- prizmatické (NiCd, NiMH, Li-ion)
- knoflíkové (NiCd, NiMH, Li-ion)

Elektrochemické rozdělení:

- nikl-kadmiové (NiCd)
- nikl-metalhydridové (NiMH)
- lithiové akumulátory
- nabíjecí alkalika
- nikl-zinkové akumulátory (Ni-Zn)

Technologie výroby elektrod:

- s lisovanými elektrodami
- s plastem pojenými elektrodami
- se sintrovanými elektrodami vyrobenými za použití niklového prachu
- se sintrovanými elektrodami vyrobenými za použití niklové pěny
- se sintrovanými elektrodami vyrobenými za použití niklových vláken
- akumulátory s interkalovanou elektrodou nebo
- lithium-kov
- lithium-slitina

Použití:

- pro všeobecné použití
- se zvýšenou kapacitou
- pro rychlé nabíjení
- pro extrémně rychlé nabíjení i vybíjení
- pro trvalé dobíjení a do zvýšených teplot
- pro komerční účely

Převzato z [4].

4.5 Paměťový efekt

Paměťový efekt byl poprvé pozorován a popsán v padesátých letech minulého století u NiCd akumulátorů pro kosmické aplikace. Jeho mechanismus byl vysvětlen v první polovině sedmdesátých let. Tento jev vzniká při opakovaném vybíjení NiCd akumulátorů na malou ale ne vždy stejnou hloubku vybití. Jeho podstatou jsou změny krystalové struktury záporné elektrody. Změny se projeví vznikem druhého vybíjecího stupně, což je náhlý pokles napětí akumulátorového článku o 50 až 100 mV. Je to vratný jev, který lze odstranit opětovným plným vybitím akumulátoru.

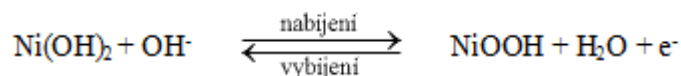
U akumulátorů kde není kadmium elektrochemicky aktivní látkou záporné elektrody, se paměťový efekt nevyskytuje. [2]

4.6 NiMH akumulátory

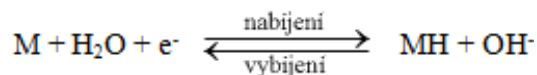
Kadmium je škodlivá elektrochemicky vodivá látka, proto začaly vznikat Niklo metalhydridové akumulátory. K jejich komerčnímu využití došlo až v polovině devadesátých let. Akumulátory měli spoustu nedostatků, které se postupně novým vývojem odstraňují. [2]

4.6.1 Princip funkce

Elektrochemické změny probíhající na kladné elektrodě při nabíjení a vybíjení jsou popsány následující rovnicí: [2]



Elektrochemické změny probíhající na kladné elektrodě při nabíjení a vybíjení jsou popsány následující rovnicí: [2]



Výhody NiMH článků:

- možnost větší kapacity článku při stejných rozměrech
- menší zátěž pro životní prostředí, neobsahují kadmium (*kapitola 4.6*)
- nemají paměťový efekt (*kapitola 4.5*)
- malý vnitřní odpor
- možnost použít nabíječe s NiCd akumulátory

Nevýhody NiMH článků:

- obecně větší ztráty samovybitím (v dnešní době už úplně neplatí)
- vyšší hmotnost
- vyšší pořizovací cena

Převzato z [2].

4.6.2 Konstrukce NiMH akumulátorů

Zásadní odlišnost článků spočívá v materiálu elektrod. Elektrody jsou vysoce porézní a pro umístění do válcových článků jsou stočeny do svitku.

Kladná elektroda má často pěnovou strukturu, jiné mají kladné elektrody spékané.

Záporná elektroda má pastovou strukturou válcovanou za sucha.

Separátor je syntetický netkaný materiál, který izoluje kladnou elektrodu od záporné.

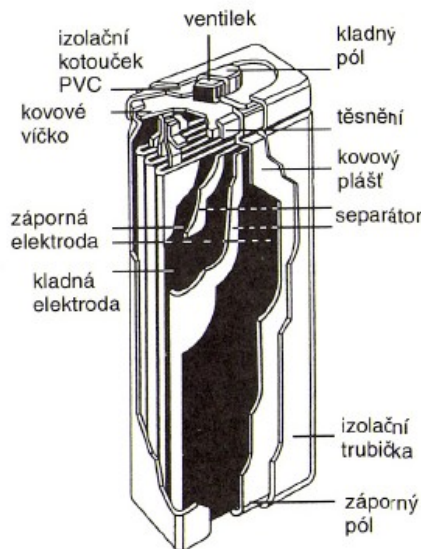
Kalíšek funguje jako záporný vývod.

Víčko je kladný vývod.

Těsnění odděluje víčko a kalíšek.

Ventil je bezpečnostní opatření, zajišťujícím tlakové poměry v článku.

Stočený svitek elektrod je vložen do válcového ocelového poniklovaného kalíšku. Elektrolyt je absorbován v elektrodách a v separátoru. Článek je uzavřen víkem s ventilem, pólovou čepičkou a plastovým těsněním, obě části jsou od sebe odděleny těsněním. Konstrukci hranolového článku znázorňuje (Obrázek 4-4). [3]



Obrázek 4-4 konstrukce hranolového NiMH článku

4.6.3 Nabíjecí metody NiMH článků

Standardní nabíjení

Nabíjí se konstantním proudem $0,1\ C$ po dobu 15 až 16 h, tím se vloží do článků 150 až 160 % náboje a zamezí se zbytečnému přebíjení. Tato metoda je použitelná při teplotách 0 až 45°C. Články nesmějí být přebíjeny proudem $0,1\ C$ déle než 10h.

kde: C je nominální kapacita akumulátoru

Zrychlené nabíjení

Nabíjí se konstantním proudem $0,3\ C$ po dobu 5 h, tím se do článků vloží 150 % náboje. Takto lze nabíjet v teplotním rozsahu 10 až 45 °C

Rychlé nabíjení

Nabíjí se konstantním proudem $0,5$ až $1\ C$.

Trvalé nabíjení

Je určeno pro aplikace vyžadující, aby články byly stále plně nabity. Aby se vyrovnaly ztráty kapacity samovybitím, doporučuje se články nabíjet proudy $0,03$ až $0,05\ C$ při teplotách 10 až 35 °C.

Převzato z [3].

4.6.4 Vybraný akumulátor

Parametry vybraného článku:

<i>Typ:</i>	Hermetický NiMH
<i>Model:</i>	GP250R8H
<i>Nominální napětí:</i>	8,4 V
<i>Kapacita minimální:</i>	200 mAh
<i>typická:</i>	210 mAh
<i>Vnitřní odpor:</i>	1300 mΩ / 1 kHz
<i>Životnost baterie:</i>	>500 cyklů
<i>Váha:</i>	42,5 g
<i>Rozměry:</i>	15,7mm x 26,5mm x 48,5 mm
<i>Provozní teplota:</i>	-20 až 50 °C

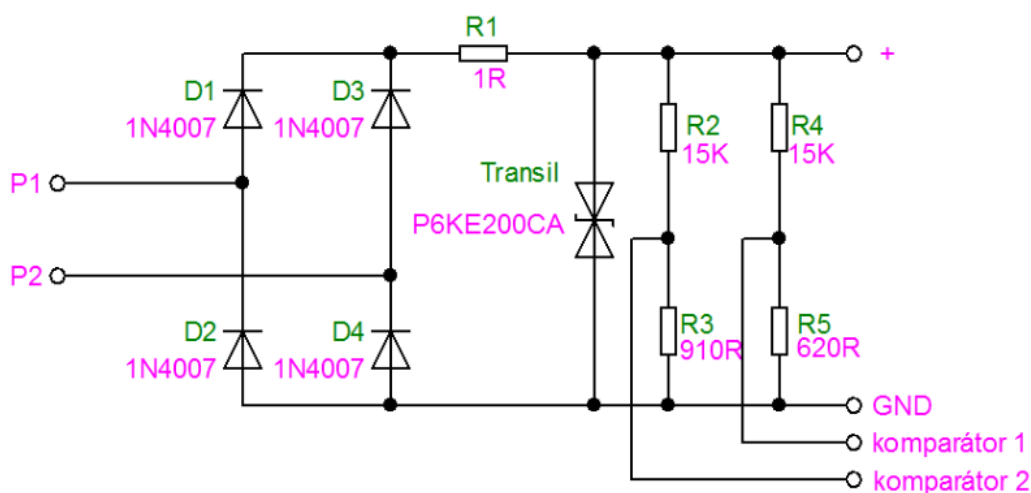


Obrázek 4-5 Vybraný akumulátor

5 Vstupní obvod

Vstupní obvod slouží k připojení napěťových potenciálů P_1 a P_2 k ostatním komponentům v zapojení. Obvod tvoří: vstupní svorky, usměrňovací můstek, přepětová ochrana a napěťové děliče (Obrázek 5-1). Děliče vytváří referenci pro připojení na vstup komparátorů v řídicích obvodech (kapitola 9). Výstup z obvodu je připojen na vstupy stabilizátorů napětí (kapitola 7).

5.1 Návrh vstupního obvodu



Obrázek 5-1 Zapojení vstupního obvodu

Usměrňovací můstek

V zapojení je použit dvoucestný usměrňovač (*Graetzův můstek*). Vstupní napětí je stejnosměrné, můstek v zapojení slouží jako usměrňovač v případě působení záporného napětí mezi potenciály P_1 a P_2 . Pro tento účel byly použity usměrňovací diody řady 1N4007 s parametry: $U_{rrm} = 1000 \text{ V}$, $I_f = 1 \text{ A}$, $U_f = 1,1 \text{ V}$

kde U_{rrm} je maximální opakovatelné závěrné špičkové napětí [V]

I_f je proud v propustném směru [A]

U_f je napětí v propustném směru [V]

Je nutné zde počítat s úbytkem napětí $U_u = 2,2 \text{ V}$ ($U_u = 2 \cdot 1,1 = 2,2 \text{ V}$).

Přepětová ochrana

Jako přepětová ochrana byl použit obousměrný (bipolární) transil P6KE200CA, chrání obvody proti přepětí v obou polaritách. Jeho parametry jsou: $U_{br} = 200 \text{ V}$, $P_{max} = 600 \text{ W}$

kde U_{br} je prahové napětí [V]

P_{max} je maximální výkon [W]

Napěťový dělič

Výstupy z děličů napětí (tvořené rezistory R_2 , R_3 , R_4 , R_5) jsou připojeny na vstupy komparátorů v řídicích obvodech. Dělič je zde nutný, protože komparátory mají definovaný rozsah vstupního napětí, které by mělo být o 3 V menší než je hodnota napájecího napětí komparátoru. Funkce řídicího obvodu je popsána v (kapitole 9). Napěťové úrovně popisuje (Tabulka 5-1), rezistory jsou zvoleny tak, aby odpovídaly požadavkům uvedeným v této tabulce. Hodnoty rezistorů zobrazuje (Obrázek 5-1), uvedeny jsou v přílohách (1. příloha).

	Komparátor2(12 V)	Komparátor1(5 V)
U_v	20 až 170 V	7 až 55 V
U_d	1 V	0,254 V
U_h	9 V	2 V

Tabulka 5-2 Komparační hladiny

kde U_v je rozsah vstupních hodnot napětí přivedeného na dělič [V]
 U_d je dolní hladina napětí reference komparátoru [V]
 U_h je horní hladina napětí reference komparátoru [V]

6 Nabíjecí obvod

Nabíjecí obvod je navržen s použitím metody trvalého dobíjení (*kapitola 4.6.3*), kde je doporučeno články nabíjet 0,03 až 0,05 násobkem kapacity akumulátoru (6.1). [3]

Tato metoda byla zvolena s ohledem na řešený problém, kdy se akumulátor používá jako záložní zdroj pro napájení měřícího zařízení, proto je důležité, aby byly články akumulátoru plně nabity a připraveny k použití. Při volbě hodnoty nabíjecího proudu je přihlíženo ke ztrátám, které vznikají samovybíjením akumulátoru.

Hodnota nabíjecího proudu I_n je v tomto případě

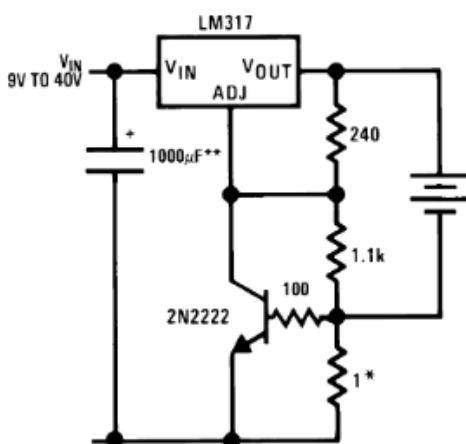
$$I_n = 0,05 \cdot C \text{ [A]} \quad (6.1)$$

$$I_n = 0,05 \cdot 0,2 = 0,01 \text{ A}$$

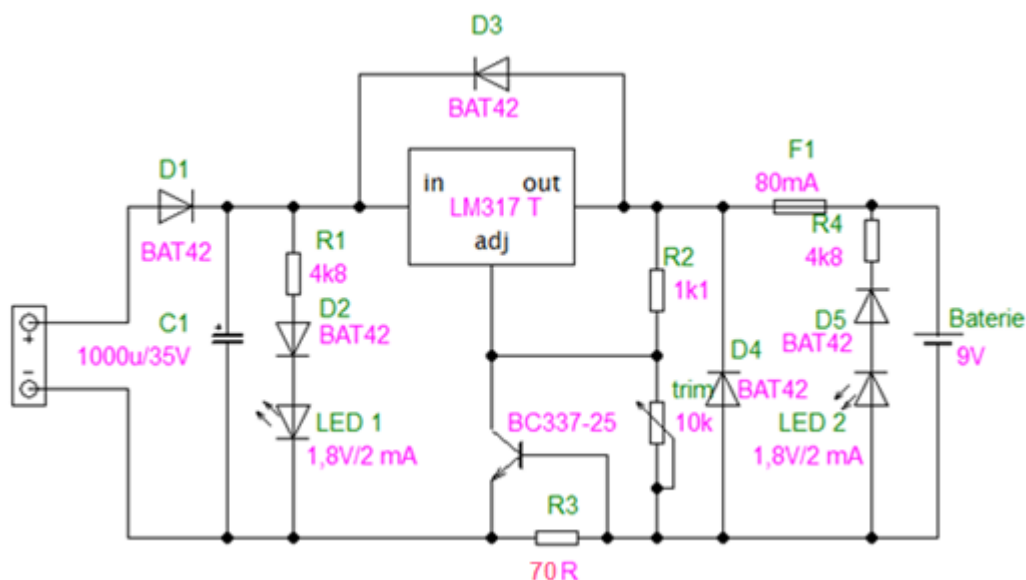
kde I_n je nabíjecí proud [A]
 C je kapacita akumulátoru [Ah]

6.1 Návrh nabíjecího obvodu

Pro návrh a realizaci nabíjecího obvodu byl použit integrovaný regulátor *LM317T* a jeho katalogové zapojení (*Obrázek 6-1*), které bylo upraveno pro potřeby nabíjení NiMH akumulátoru, sloužícího jako záložní zdroj.



Obrázek 6-1 Katalogové zapojení stabilizátoru LM317T



Obrázek 6-2 Zapojení nabíjecího obvodu

6.1.1 Popis funkce obvodu

Napájecí napětí nabíječe by mělo být, podle katalogu výrobce, asi o 2,5 až 3 V větší, než je hodnota výstupního napětí. Příliš vysoké napájecí napětí zvyšuje ztrátu obvodu *LM317 T*, příliš nízké napětí by neumožnilo správný provoz. Vstupní napětí je 12 V. Dobíjecí zařízení je připojeno na výstup stabilizátoru 12V. Kondenzátorem C_1 je napětí filtrováno. *LED 1* slouží k zobrazení přítomnosti napájecího napětí na vstupu obvodu. Napěťovým děličem, složeným z rezistoru R_2 a trimru je nastavena hodnota výstupního napětí naprázdno 8,4 V (6.2), která odpovídá cílovému napětí článku. Vzorce jsou převzaty z datasheetu *LM317 T* uvedeného v přílohách (/Nabíjecí obvod).

Stabilizace proudu

Proud je určen hodnotou rezistoru R_3 (6.3). Je zvolen podle typu nabíjeného článku, metody nabíjení a nabíjecího proudu (6.1). Stabilizace proudu probíhá pomocí rezistoru R_3 a přechodu tranzistoru *BC337-25*. Pokud úbytek napětí na rezistoru R_3 dosáhne cca 0,7 V, což je hodnota mezi bází a emitorem tranzistoru *BC337-25*, dojde k jeho otevření. Tím se snižuje napětí na vývodu *adj* stabilizátoru *LM317 T* a dochází ke stabilizaci proudu.

Ochrana obvodu

Z bezpečnostních důvodů je na výstupu z nabíječe připojena proudová pojistka. Nabíječ je tak odolný vůči zkratu na výstupu.

Na výstupu z obvodu je připojena dioda *LED 2*, která informuje o přepólování baterie. Rezistory R_1 a R_4 jsou předřadné odpory *LED* diod. Diody *BAT42* jsou zapojeny jako ochrany

před přepólováním. Hodnoty součástek zobrazuje (*Obrázek 6-2*), uvedeny jsou v přílohách (1. příloha).

$$U_{\text{out}} = U_{\text{ref}} \left(1 + \frac{R_2}{R_1} \right) + I_{\text{adj}} \quad [\text{V}] \quad (6.2)$$

kde U_{out} je hodnota výstupního napětí naprázdno [V]
 U_{ref} je hodnota referenčního napětí na vývodu adj proti zemi [V]
 I_{adj} je hodnota proudu na vývodu adj [A]

Výpočet R_1, R_2

$$8,4 = 1,25 \left(1 + \frac{R_2}{R_1} \right) + 0,0001$$

$$8,4 = 1,25 + 1,25 \frac{R_2}{R_1} + 0,0001$$

$$8,4 - 1,25 - 0,0001 = 1,25 \frac{R_2}{R_1}$$

$$7,15 = 1,25 \frac{R_2}{R_1}$$

$$5,72 = \frac{R_2}{R_1}$$

$$5,72 R_1 = R_2$$

zvolíme: $R_1 = 1100 \, \Omega$

dopočítáme: $R_2 = 6k2 \, \Omega$ trimr ve schématu (*Obrázek 6-2*)

Pro možnost přesnějšího nastavení výstupního napětí je v obvodu použit trimr.

$$R_3 = \frac{U_{\text{be}}}{I_{\text{n}}} \quad [\Omega] \quad (6.3)$$

kde U_{be} je hodnota napětí mezi bází a emitorem tranzistoru [V]
 I_{n} (6.1)

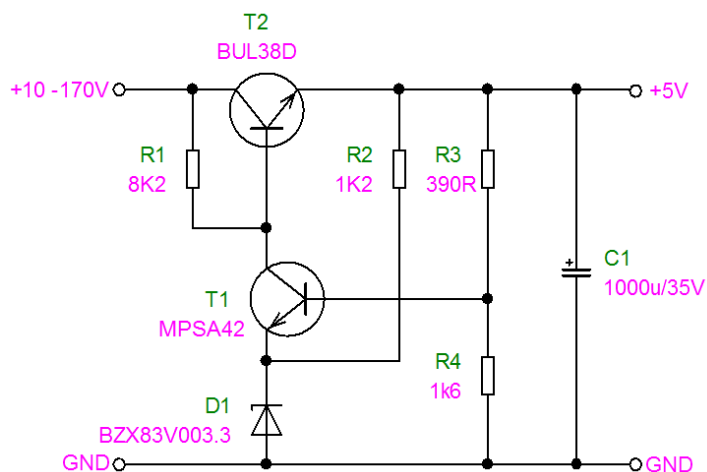
$$R_3 = \frac{0,7}{0,01}$$

$$R_3 = 70 \, \Omega$$

7 Stabilizátory

Pro stabilizaci vstupního napětí byl použit sériový regulátor se zpětnou vazbou (Obrázek 7-1), který odstraňuje řadu nevýhod obyčejných parametrických stabilizátorů. Používá se proto v aplikacích náročnějších na přesnost stabilizovaného napětí, kdy se napětí nesmí příliš měnit v závislosti na připojené zátěži. Obvod pracuje jako spojitý regulátor, kde je tranzistor T_2 výkonovým prvkem, který ovládá hodnotu výstupního napětí a ztrácí se na něm přebytečný výkon. Proto je nutné tranzistor upevnit na dostatečně dimenzovaný chladič. Návrh chladičů pro oba regulační obvody je rozebrán v kapitole 8. [5]

7.1 Návrh stabilizátoru 5 V



Obrázek 7-1 Zapojení sériového regulátoru 5 V se zpětnou vazbou

7.1.1 Popis funkce obvodu

Funkce obvodu spočívá v porovnávání hodnoty výstupního napětí s referenční hodnotou. V případě rozdílných hodnot je tato napěťová odchylka zesílena pomocí tranzistoru T_1 a dále přivedena na bázi tranzistoru T_2 , který řídí hodnotu napětí v závislosti na odchylce, tak aby byl rozdíl mezi skutečným a referenčním napětím ideálně nulový. Výstupní napětí určuje dělič, tvořený rezistory R_3 a R_4 podle vztahu (7.1.1.1). Referenčního napětí je nastaveno rezistorem R_2 a diodou D_1 (7.1.1.2). [5]

$$U_2 = \frac{R_3 + R_4}{R_4} (U_z + U_{BE2}) \quad [\text{V}] \quad (7.1.1.1)$$

kde U_2 je hodnota výstupního napětí [V]

U_z je hodnota napětí na diodě D_1 (7.1.1.2) [V]

U_{BE2} je hodnota napětí mezi bází a emitorem tranzistoru T_1 [V]

odvození (7.1.1.1)

$$U_2 = \frac{390 + 1600}{1600} (3,3 + 0,7)$$

$$U_2 = 4,97 \text{ V} \cong 5 \text{ V}$$

$$U_z \cong 0,5 U_2 \quad [\text{V}] \quad (7.1.1.2)$$

kde U_2 je hodnota výstupního napětí [V]

odvození (7.1.1.2)

$$U_z \cong 0,5 \cdot 5$$

$$U_z \cong 2,5 \text{ V}$$
 dioda D_1 je zvolena s $U_z = 3,3 \text{ V}$

Výpočet rezistoru R_2 dle vztahu (7.1.1.3)

$$R_2 = \frac{U_2 - U_z}{I_z - \frac{I_z}{2}} \quad [\Omega] \quad (7.1.1.3)$$

kde I_z je hodnota Zenerova proudu D_1 určena z katalogu [A]

$$R_2 = \frac{5 - 3,3}{0,005 - \frac{0,005}{2}}$$

$R_2 = 680 \Omega$ Hodnota byla upravena na 1200Ω vzhledem k výsledkům simulace obvodu v programu *Micro-cap*.

Výpočet rezistoru R_1 dle vztahu (7.1.1.4)

$$R_1 = \frac{U_1 - \Delta U_1 - (U_{BE} + U_2)}{I_{R1}} \quad [\Omega] \quad (7.1.1.4)$$

kde U_1 je hodnota maximálního vstupního napětí [V]

ΔU_1 je rozdíl hodnot vstupního napětí [V]

U_{BE} je napětí mezi bází a emitorem tranzistoru T_1 [V]

I_{R1} je hodnota proudu R_1 [A]

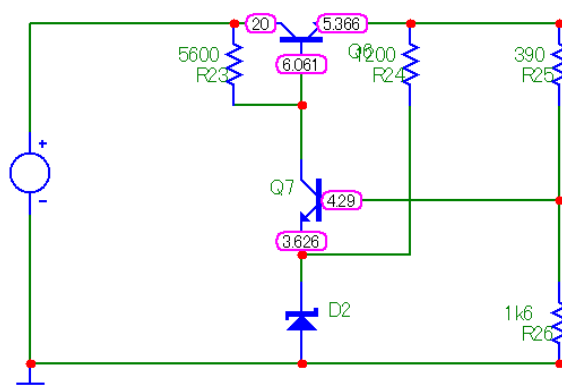
Hodnota vstupního napětí se pohybuje v rozmezí od 10 do 170 V. Analýzou, na základě naměřených dat bylo zjištěno, že Stabilizátor 5 V je při naměřených hodnotách schopen dodat měřicímu zařízení potřebné napětí 76 % dne.

odvození (7.1.1.4)

$$R_1 = \frac{170 - 160 - (0,7 + 5)}{0,0005}$$

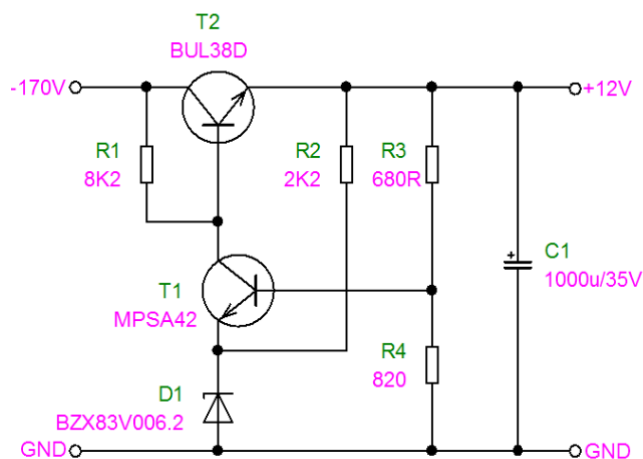
$$R_1 = 8200 \, \Omega$$

Výsledky transientní analýzy v programu *Micro-cap*, který byl využit při návrhu regulátoru, zobrazuje (Obrázek 7-2). Hodnoty součástek zobrazuje (Obrázek 7-1), uvedeny jsou v přílohách (1. příloha).



Obrázek 7-2 Simulace regulátoru 5 V v programu Micro-cap

7.2 Návrh stabilizátoru 12V



Obrázek 7-3 Zapojení sériového regulátoru 12 V se zpětnou vazbou

7.2.1 Popis funkce obvodu

Funkce obvodu regulátoru 12 V je totožná s regulátorem 5 V popsaným v kapitole 7.1.1. Výpočty součástek jsou odvozeny stejným způsobem jako předchozí regulátor 5 V.

odvození (7.1.1.1)

$$U_2 = \frac{680 + 820}{820} (6 + 0,7)$$

$$U_2 = 12,2 \text{ V} \cong 12 \text{ V}$$

odvození (7.1.1.2)

$$U_z \cong 0,5 \text{ V}$$

$$U_z \cong 2,5 \text{ V} \text{ dioda } D_1 \text{ je zvolena s } U_z = 3,3 \text{ V}$$

Výpočet rezistoru R_2 dle vztahu (7.1.1.3)

$$R_2 = \frac{12 - 6,2}{0,005 - \frac{0,005}{2}}$$

$$R_2 = 2320 \Omega \cong 2200 \Omega$$

Výpočet rezistoru R_1 dle vztahu (7.1.1.4)

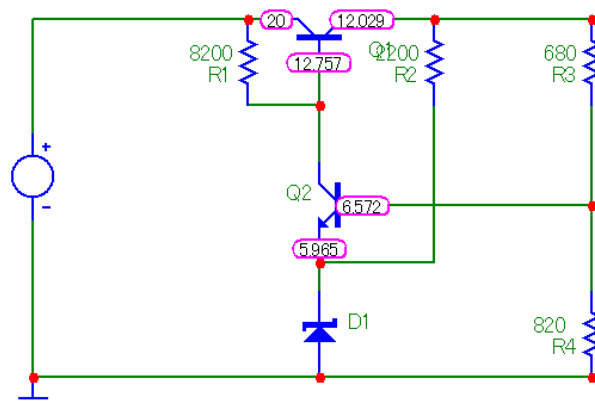
$$R_1 = \frac{170 - 150 - (0,7 + 12)}{0,0008}$$

$$R_1 = 8200 \Omega$$

Výpočty v kapitole převzaty z [5].

Hodnota vstupního napětí se pohybuje v rozmezí od 20 do 170 V. Analýzou, na základě naměřených dat bylo zjištěno, že Stabilizátor 12 V je při naměřených hodnotách schopen dodat nabíjecímu obvodu potřebné napětí 51 % dne.

Výsledky transientní analýzy v programu *Micro-cap*, který byl využit při návrhu regulátoru, zobrazuje (Obrázek 7-4). Hodnoty součástek zobrazuje (Obrázek 7-3), uvedeny jsou v přílohách (1. příloha).



Obrázek 7-4 Simulace regulátoru 12 V programu *Micro-cap*

8 Návrh chladičů

Tranzistor BUL38D použitý při realizaci napěťových regulátorů je výkonově namáhanou součástí, maximální hodnota ztrátového výkonu pro stabilizátor 5 V je $P_{z1} = 16,5 \text{ W}$ (8.1). Pro stabilizátor 12 V je $P_{z2} = 15,8 \text{ W}$ (8.2).

$U_1 = 170 \text{ V}$ kde U_1 je hodnota vstupního napětí na potenciálech v hale
 $U_{25V} = 5 \text{ V}$ kde U_{25V} je hodnota výstupního napětí ze stabilizátoru 5 V
 $U_{212V} = 12 \text{ V}$ kde U_{212V} je hodnota výstupního napětí ze stabilizátoru 12 V
 $I_{\max} = 0,1 \text{ A}$ kde I_{\max} je hodnota maximálního odebíraného proudu

$$P_{z1} = (U_1 - U_{25V}) \cdot I_{\max} \quad [\text{W}] \quad (8.1)$$

$$P_{z1} = (170 - 5) \cdot 0,1 = 16,5 \text{ W}$$

$$P_{z2} = (U_1 - U_{212V}) \cdot I_{\max} \quad [\text{W}] \quad (8.2)$$

$$P_{z2} = (170 - 12) \cdot 0,1 = 15,8 \text{ W}$$

Polovodičové součástky mají stanovenou maximální teplotu, při které jsou schopny funkce. Po překročení teploty dochází ke zničení P-N přechodu a celé součástky. Nadbytečné teplo je tedy potřeba za pomoci vhodně dimenzovaného chladiče odvádět. Limitní teploty polovodičů jsou uvedeny v katalogovém listu. Pro zde použitý tranzistor BUL38D je limitní teplota T_j 150°C. Teplota okolí T_a 45°C.

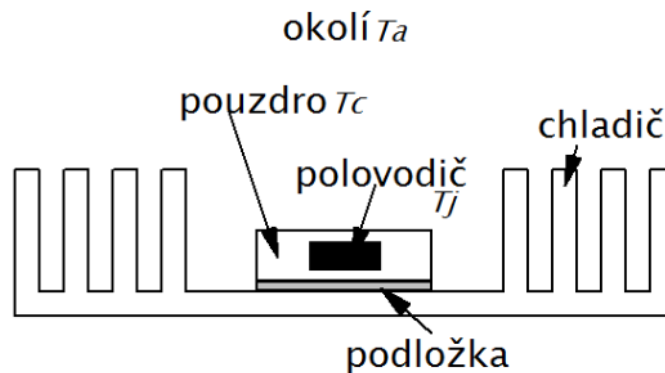
Tepelný odpor R_{th} je veličina, která charakterizuje přestup tepla. V tomto případě přestup mezi jednotlivými vrstvami polovodič, pouzdro, chladič a okolí. Je vyjádřena jako součet tepelných odporů těchto vrstev (8.3). R_{th} lze vypočítat i jako podíl teplotního spádu a ztrátového výkonu P_z (8.4). Teplotní spád je definován jako rozdíl teploty polovodiče T_j a teploty okolí T_a . [6]

Problematika chlazení je složitá a obsáhlá. Pro doplnění výpočtů se v praxi často využívá simulací a návrhových programů. Nejpresnější možností je provést měření, kde na základě rozměrů, typu materiálu a povrchové úpravy chladiče, lze odhadnout jeho tepelný odpor z katalogu. Pak je možné určit tomu odpovídající napětí a výkon pro oteplení 10°C. Chladič poté zahřát připojeným odporem, na který působí napětí odpovídající oteplení 10°C. Za pomoci termočlánku lze po ustálení odečíst konečnou teplotu, vypočítat skutečnou hodnotu oteplení a určit přesně tepelný odpor R_{th} .

$$R_{th} = R_{thjc} + R_{ths} + R_{thr} \quad [^{\circ}\text{CW}^{-1}] \quad [6] \quad (8.3)$$

kde R_{thjc} je tepelný odpor mezi vrstvami polovodič - pouzdro [$^{\circ}\text{CW}^{-1}$]
 R_{ths} je tepelný odpor mezi vrstvami pouzdro - chladič [$^{\circ}\text{CW}^{-1}$]
 R_{thr} je tepelný odpor mezi vrstvami chladič - okolí [$^{\circ}\text{CW}^{-1}$]
(Obrázek 8-1)

$$R_{th} = \frac{T_j - T_a}{P_z} \quad [^{\circ}\text{CW}^{-1}] \quad [6] \quad (8.4)$$



Obrázek 8-1 Vrstvy

8.1 Výpočet chladiče pro stabilizátor 5 V

1. teplota pouzdra T_c : [7]

Pro výpočet teploty pouzdra T_c je potřeba znát hodnoty T_j , R_{thjc} -katalog výrobce, P_{z1}

$$T_c = T_j - (R_{thjc} \cdot P_{z1})$$

$$T_c = 150 - (1,78 \cdot 16,5)$$

$$T_c = 120,63 \text{ } ^{\circ}\text{C}$$

2. tepelný odpor R_{th} : [6]

Pro výpočet tepelného odporu R_{th} je potřeba znát hodnoty T_j , T_a , P_{z1}

Výpočet podle vztahu (8.4).

$$R_{th} = \frac{T_j - T_a}{P_{z1}}$$

$$R_{th} = \frac{120,63 - 45}{16,5}$$

$$R_{th} = 4,58 \text{ }^{\circ}\text{CW}^{-1}$$

Na základě tohoto výsledku, lze v katalogu nalézt potřebný chladič a určit tak hodnotu jeho plochy S.

Výpočet podle vztahu (8.3).

$$R_{th} = R_{thjc} + R_{ths} + R_{thr}$$

$$R_{th} = 1,78 + 0,5 + 2,6$$

$$R_{th} = 4,88 \text{ }^{\circ}\text{CW}^{-1}$$

$$R_{thjc} \quad 1,78 \text{ }^{\circ}\text{CW}^{-1} \text{ (katalogová hodnota)}$$

$$R_{ths} \quad 0,5 \text{ }^{\circ}\text{CW}^{-1} \text{ (montáž přes silikonovou podložku)}$$

$$R_{thr} \quad 2,6 \text{ }^{\circ}\text{CW}^{-1} \text{ (8.1.1)}$$

$$R_{thr} = \frac{3,3}{\sqrt{\lambda \cdot d}} C^{0,25} + \frac{650}{S} \quad [^{\circ}\text{CW}^{-1}] \text{ [6]} \quad (8.1.1)$$

$$R_{thr} = \frac{3,3}{\sqrt{2,1 \cdot 3}} 0,43^{0,25} + \frac{650}{130} 0,43$$

$$R_{thr} = 2,6 \text{ }^{\circ}\text{CW}^{-1}$$

kde S je plocha chladiče (130 cm²)

λ je tepelná vodivost materiálu chladiče (hliník 2,1)

d je šířka desky chladiče

C je korekční faktor (chladič je umístěn svisle a jeho plocha je černěná)

Výsledný tepelný odpor R_{th} je při použití vztahů (8.3), (8.4) srovnatelný.

8.2 Výpočet chladiče pro stabilizátor 12 V

Stejným způsobem, je proveden návrh chladiče pro stabilizátor 12 V.

1. teplota pouzdra T_c :

$$T_c = T_j - (R_{thjc} \cdot P_z)$$

$$T_c = 150 - (1,78 \cdot 15,8)$$

$$T_c = 121,87 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

2. tepelný odpor R_{th}

Výpočet podle vztahu (8.4).

$$R_{th} = \frac{T_j - T_a}{P_{z1}}$$

$$R_{th} = \frac{121,87 - 45}{15,8}$$

$$R_{th} = 4,86 \text{ } ^\circ\text{CW}^{-1}$$

Výpočet podle vztahu (8.3).

$$R_{th} = R_{thjc} + R_{ths} + R_{thr}$$

$$R_{th} = 1,78 + 0,5 + 2,6$$

$$R_{th} = 4,88 \text{ } ^\circ\text{CW}^{-1}$$

$$R_{thjc} \quad 1,78 \text{ } ^\circ\text{CW}^{-1} \text{ (katalogová hodnota)}$$

$$R_{ths} \quad 0,5 \text{ } ^\circ\text{CW}^{-1} \text{ (montáž přes silikonovou podložku)}$$

$$R_{thr} \quad 2,6 \text{ } ^\circ\text{CW}^{-1} \text{ (8.1.1)}$$

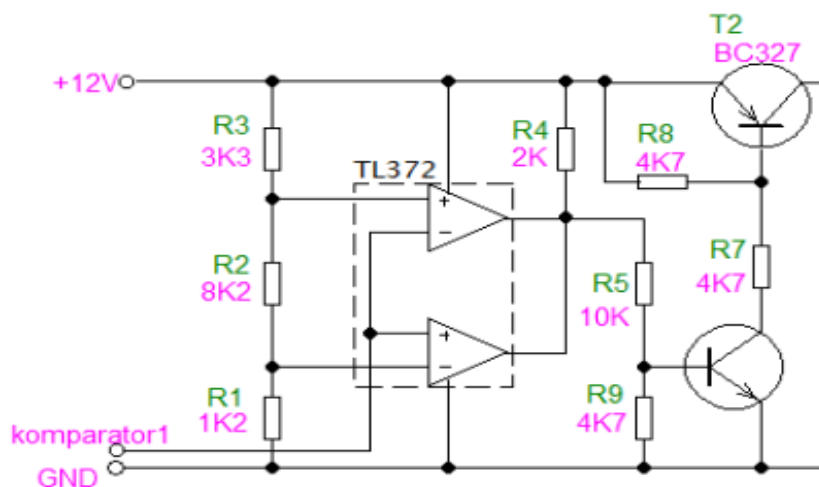
Výsledný tepelný odpor R_{th} je při použití vztahů (8.3), (8.4) srovnatelný.

Pro chlazení tranzistorů BUL38D v obvodech stabilizátorů jsou použity dva stejné žebrované chladiče s rozměry 65x100x20 mm. Plocha chladičů je $\approx 130 \text{ cm}^2$.

9 Řídicí obvod

Řídicí obvod sleduje hodnoty napětí na výstupu vstupního obvodu, na základě kterých spíná DC-DC měniče, které oddělují vstupní a výstupní část zapojení. Měniče jsou připojeny na nabíjecí obvod (*kapitola 9.1*) a výstupní obvod (*kapitola 9.2*) DC-DC měniče pracují v definovaném rozsahu vstupních napětí. Tato napětí musí být dodrženy pro správnou funkci obvodu. Z tohoto důvodu jsou před DC-DC měniče připojeny komparátory, které spínají měniče takovým způsobem, aby bylo zajištěno, že vstupní obvod bude schopen dodat měničům potřebné napětí a proudy. Hodnoty referenčních napětí jsou dány rezistory R_1 , R_2 , R_3 . Skutečné hodnoty jsou přivedeny na vstupy komparátorů ze vstupního obvodu (*kapitola 5*). Spínání je realizováno pomocí tranzistorového spínače složeného z tranzistorů T_1 , T_2 a rezistorů R_5 , R_9 , R_7 , R_8 .

9.1 Řídicí obvod pro měnič 12 V



Obrázek 9-1 Zapojení řídicího obvodu pro měnič 12 V

Komparátor

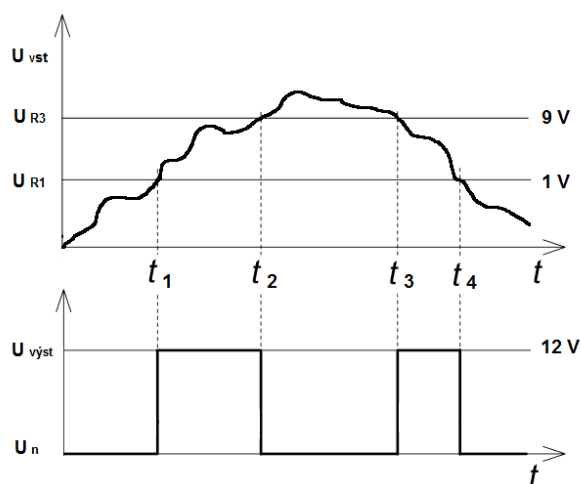
V zapojení je použit tzv. *Okénkový komparátor*, který obsahuje dva komparátory (integrováný obvod TLC 372). Děličem složeným z rezistorů R_1 , R_2 , R_3 jsou vytvořena napětí komparačních hladin. Je-li vstupní signál U_{vst} , připojený na komparátor, menší než napětí U_{R1} na výstupu komparátoru bude nízká napěťová úroveň U_n . Pohybuje-li se vstupní signál U_{vst} v rozsahu mezi napětím U_{R1} a U_{R3} , na výstupu komparátoru bude napětí $U_{výst}$ 12 V (Obrázek 9-3).

Komparátory mají definovaný rozsah vstupního napětí, které by mělo být o 3 V menší než je hodnota napájecího napětí komparátoru, ten je v tomto případě napájen 12 V (Tabulka 9-2). Vstupní napětí U_{vst} je vytvořeno z děličů napětí (tvořené rezistory R_2 , R_3 , R_4 , R_5) ve vstupním obvodu (*kapitola 5*). [8]

	Komparátor 12 V
U_{vst}	20 až 170 V
U_{R3}	1 V
U_{R1}	9 V

Tabulka 9-2 Napěťové poměry

kde U_{vst} je hodnota napětí mezi potenciály P_1 a P_2 [V]
 U_{R1} je hodnota dolní komparační hladiny [V]
 U_{R3} je hodnota horní komparační hladiny [V]



Obrázek 9-3 Funkce komparátoru 12 V

kde U_{vst} je hodnota napětí mezi potenciály P_1 a P_2 [V]
 $U_{\text{výst}}$ je hodnota napětí mezi potenciály P_1 a P_2 [V]
 U_{n} je hodnota nízké napěťové úrovně [V]
 U_{R1} je hodnota dolní komparační hladiny [V]
 U_{R3} je hodnota horní komparační hladiny [V]
 t_1 až t_4 jsou doby mezi úrovněmi $U_{\text{výst}}$ a U_{n} [s]

Tranzistorový spínač

Spínač je řízen výstupem z komparátoru a je složen z tranzistorů T_1 , T_2 a rezistorů R_5 , R_9 , R_7 , R_8 . Na výstup tohoto obvodu je připojen DC-DC měnič.

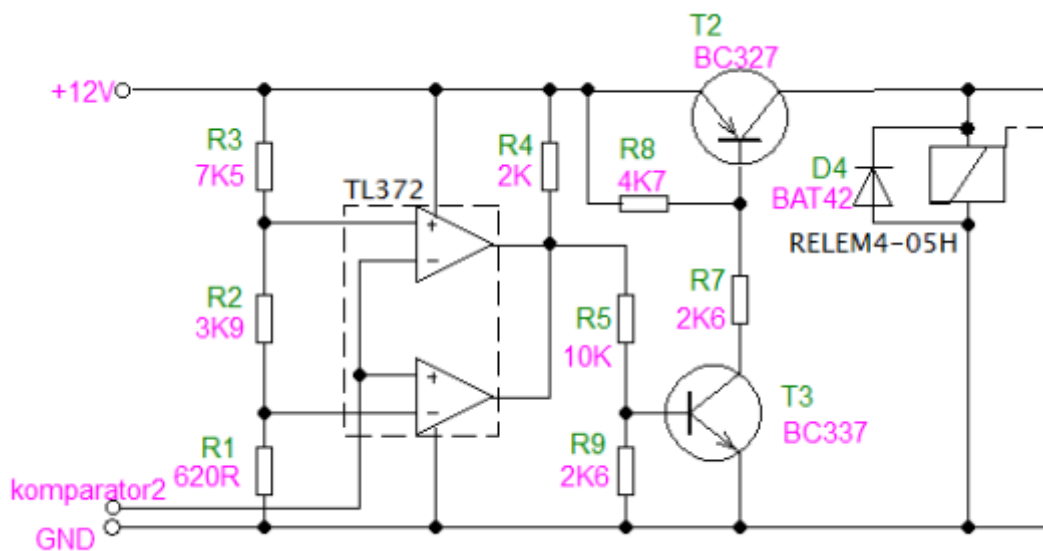
DC-DC měnič

V zapojení je použit integrovaný měnič firmy Aimtec ze série AM1S-Z. Měnič je připojen na vstup nabíjecího obvodu.

Model:	AM1S-1212SZ
Vstupní napětí:	10,8-13,2 V
Výstupní napětí:	12 V
Maximální výstupní proud:	0,83 A
izolace:	1000 V (DC)
účinnost:	78 %

Hodnoty součástek zobrazuje (Obrázek 9-1), uvedeny jsou v přílohách (1. příloha).

9.2 Řídicí obvod pro měnič 5 V



Obrázek 9-4 Zapojení řídicího obvodu pro měnič 5 V

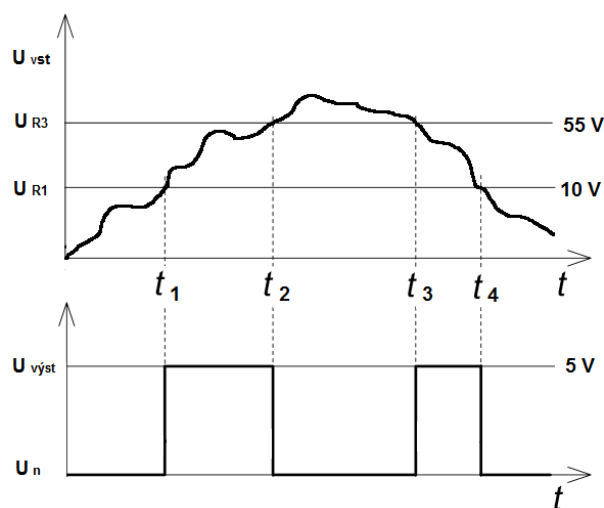
Obvod je téměř totožný s výše popsaným zapojením (kapitola 9.1), jedinou změnou je připojené relé na výstupu obvodu, které uvádí do provozu záložní baterii (kapitola 9.3). Příkon cívky relé je 0,15 W. Z tohoto důvodu je připojeno relé před DC-DC měnič, aby jím nebyl měnič zatížen. Schéma zapojení zobrazuje (Obrázek 9-4). Napěťové poměry jsou uvedeny v (Tabulka 9-5) a funkce komparátoru 5 V ukazuje (Obrázek 9-6).

Komparátor

	Komparátor 5 V
U_{vst}	7 až 55 V
U_{R3}	0,254 V
U_{R1}	2 V

Tabulka 9-5 Napětové poměry

kde U_{vst} je hodnota napětí mezi potenciály P_1 a P_2 [V]
 U_{R1} je hodnota dolní komparační hladiny [V]
 U_{R3} je hodnota horní komparační hladiny [V]



Obrázek 9-6 Funkce komparátoru 5 V

kde U_{vst} je hodnota napětí mezi potenciály P_1 a P_2 [V]
 U_{vyst} je hodnota napětí mezi potenciály P_1 a P_2 [V]
 U_n je hodnota nízké napětové úrovně [V]
 U_{R1} je hodnota dolní komparační hladiny [V]
 U_{R3} je hodnota horní komparační hladiny [V]
 t_1 až t_4 jsou doby mezi úrovněmi U_{vyst} a U_n [s]

DC-DC měnič

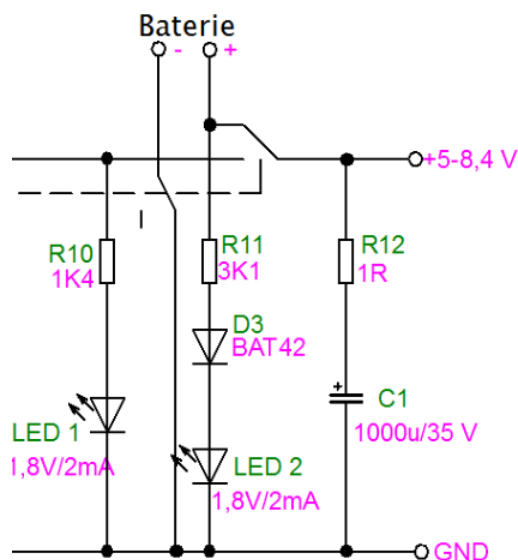
V zapojení je použit integrovaný měnič firmy Aimtec ze série AM1S-Z. Měnič je připojen na výstupní obvod.

<i>Model:</i>	AM1S-0505SZ
<i>Vstupní napětí:</i>	4,5-5,5 V
<i>Výstupní napětí:</i>	5 V
<i>Maximální výstupní proud:</i>	0,2 A
<i>izolace:</i>	1000 V (DC)
<i>účinnost:</i>	75 %

Hodnoty součástek zobrazuje (*Obrázek 9-4*), uvedeny jsou v přílohách (1. příloha).

9.3 Výstupní obvod

Výstupní obvod zprostředkovává připojení stabilizovaného napětí 5 V na zátěž, tvořenou měřicím zařízením. V případě kdy dojde k poklesu nebo absenci napětí na vstupu tohoto obvodu, automaticky se uvádí do provozu záložní baterie.



Obrázek 9-7 Zapojení výstupního obvodu

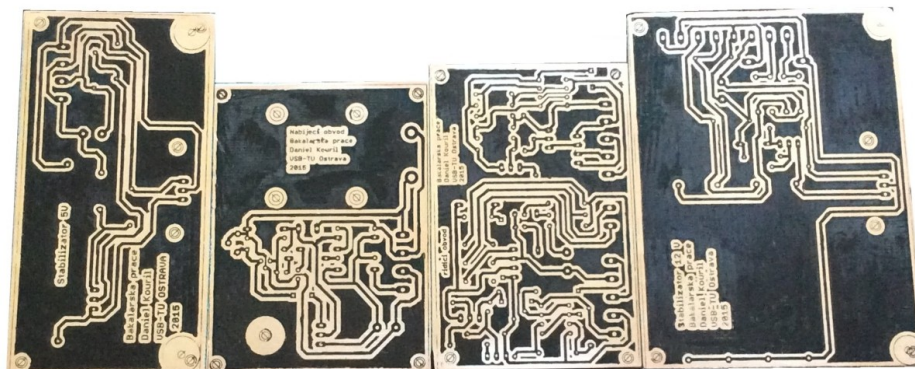
NiMH akumulátor je připojen na vývody relé, které je součástí řídicího obvodu 5V. V případě, kdy není na vstupu tohoto obvodu napětí 5 V, dochází k automatickému přepnutí kontaktů relé na vývody akumulátoru a tím je přivedeno napětí na výstup obvodu. Při spínání relé kontaktu dochází k časové prodlevě, která je kompenzována pomocí RC obvodu, u kterého je využito přechodového jevu. Pro zobrazení stavu jsou v obvodu připojeny LED diody, které informují o tom, který zdroj el. energie je aktuálně použit k napájení měřicího zařízení. Rezistory R_{10} , R_{11} , jsou předřadné odpory LED diod, dioda D_3 tvoří ochranu $LED 2$ v případě prepólování baterie. Hodnoty součástek zobrazuje (Obrázek 9-7), uvedeny jsou v přílohách (1. příloha).

10 Realizace zařízení

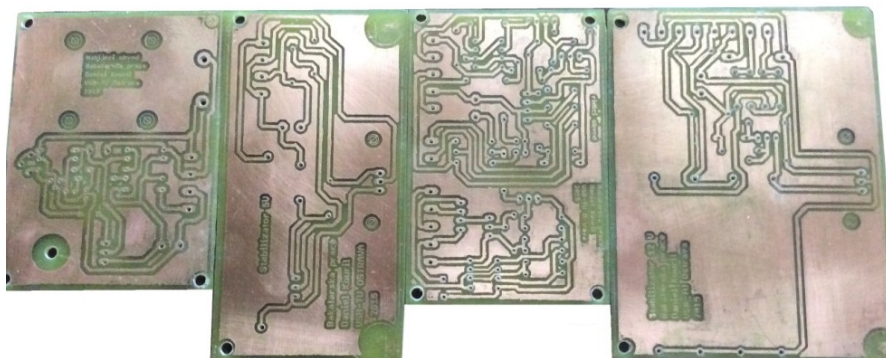
10.1 Výroba DPS a jejich osazení

Návrh desek plošných spojů je vytvořen v programu *EAGLE 5.7.0*. Podklady pro jejich výrobu jsou uvedeny v přílohách na CD. Obrazy byly na desky cuprexitu přeneseny pomocí termo-transférové fólie *TES200* a následně nažehleny (*Obrázek 10-1*). Posléze bylo provedeno odleptání DPS pomocí leptacího roztoku chloridu železitého. *Obrázek 10-2* zachycuje DPS po odleptání, odvrtání děr a povrchové úpravě.

V dalším kroku byly DPS osazeny součástkami a umístěny do konstrukčního boxu.



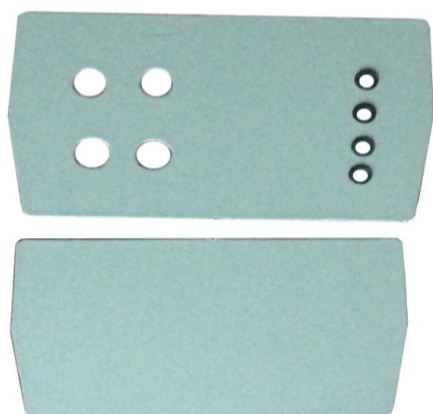
Obrázek 10-1 Desky plošných spojů 1



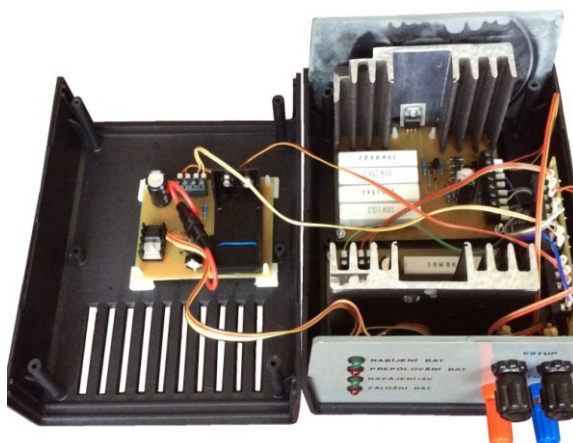
Obrázek 10-2 Desky plošných spojů 2

10.2 Výroba konstrukčního boxu

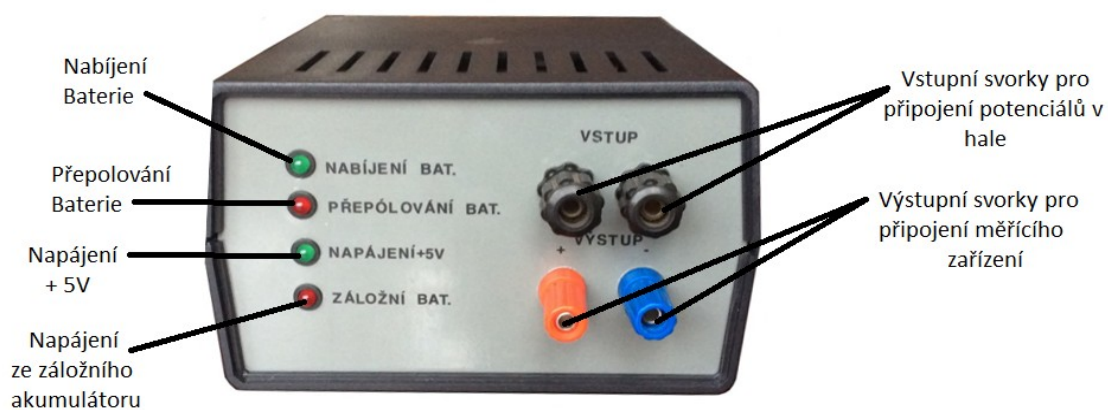
Jako kryt pro celé zařízení, je použit sériově vyráběný polystyrénový box KP10 s rozměry 181 mm x 149 mm x 90 mm. Přední panel je upraven pro osazení informačních LED diod a svorek. Přední i zadní panely jsou povrchově upraveny (Obrázek 10-3). Nápisy na předním panelu jsou přeneseny pomocí černého propisotu (Obrázek 10-5).



Obrázek 10-3 Přední panel



Obrázek 10-4 Finální výrobek



Obrázek 10-5 Popis předního panelu

11 Závěr

Obsahem bakalářské práce je komplexní návrh a realizace netradičního napájecího zdroje pro měřicí zařízení. V práci je popsána problematika zpětných trakčních proudů a konkrétních napěťových úrovní, na základě kterých byl navrhnut napájecí zdroj dle energetických požadavků měřicího zařízení. U návrhu jednotlivých obvodů je použito známých zapojení, které byly upraveny pro tuto konkrétní aplikaci.

Měřením byla ověřena funkčnost zařízení. Výsledky budou prezentovány při obhajobě.

Bakalářská práce navazuje na zakázku řešenou vedoucím práce panem Ing. Václavem Kolářem, Ph.D. v roce 2014 s názvem „*Konzultace a měření bludných proudů na pracovištích PJ Bohumín*“. Projekt byl již ukončen.

Literatura

1. Nepublikovaný dokument
VÁCLAV KOLÁŘ A KOL. Vysoká škola báňská. *Zpráva o výsledcích zakázky: "Konzultace a měření bludných proudů na pracovištích PJ Bohumín"*. Ostrava, 2014.
2. MAREK, Jiří a Luděk STEHLÍK. *Hermetické akumulátory v praxi*. Vyd. 1. Praha: IN-EL, 2004, 142 s. Elektro (IN-EL). ISBN 80-86230-34-1.
3. CENEK, Miroslav. *Akumulátory od principu k praxi*. Praha: FCC Public, 2003, 248 s. ISBN 80-86534-03-0.
4. Battex.info: Abeceda baterií a akumulátorů. BATTEX, spol. s r. o. *Hermetické akumulátory: Rozdělení hermetických akumulátorů* [online]. ©2009–2015 [cit. 2015-05-02]. Dostupné z: <http://www.battex.info/hermeticke-akumulatory/rozdeleni-hermetickych-akumulatoru>
5. PAVEL BRANDŠTETTER A KOL. *Elektronika - Prvky elektronických obvodů* [online]. Ostrava: Ediční středisko VŠB-TUO, 2007, s. 138-143 [cit. 2015-05-02]. ISBN ISBN 978-80-248-1481-0.
6. Dmaster.wz.cz. *Postupy: chladiče* [online]. 2007 [cit. 2015-05-02]. Dostupné z: <http://www.dmaster.wz.cz/postupy/chladice/chladice.htm>
7. Pandatron.cz. *Teorie, výpočty: Výpočet chladiče* [online]. 2006 [cit. 2015-05-02]. Dostupné z: http://pandatron.cz/?219&vypocet_chladice
8. DOLEČEK, Jaroslav. *Moderní učebnice elektroniky*. Praha: BEN - technická literatura, 2005, 342 s. ISBN 80-7300-146-2.

Přílohy na CD

Adresářová struktura přiloženého disku

/Nabíjecí obvod	*.pdf export schémat z programu EAGLE (A4) a datasheety součástek
/Řídící obvody	*.pdf export schémat z programu EAGLE (A4) a datasheety součástek
/Stabilizátor 5V	*.pdf export schémat z programu EAGLE (A4) a datasheety součástek
/Stabilizátor 12V +Vstupní obvod	*.pdf export schémat z programu EAGLE (A4) a datasheety součástek
1. příloha	*.txt soubor obsahující seznam součástek